

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 536.241

Вплив затінення вікон на енергопотребу та рівень теплового комфорту в літній період для дошкільного навчального закладу

І. Ю. Білоус¹, В. І. Дешко², Н. А. Буяк³, А. О. Сапунов⁴¹⁻⁴Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна✉ e-mail: ¹bilouys_inna@ukr.netORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>; ²<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>;³<https://orcid.org/0000-0003-0597-6945>; ⁴<https://orcid.org/0000-0002-6507-7979>

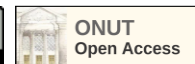
У зв'язку з ростом вимог до сталого розвитку та раціонального використання ресурсів, особливо в контексті директив Європейського Союзу щодо енергоефективності будівель, зростає увага до розробки рішень, спрямованих на забезпечення практично нульового енергоспоживання у нових громадських спорудах. У роботі розглядається актуальність впровадження енергоефективних технологій у громадській споруді, відповідно до європейських стандартів енергоефективності, так як використання затінення в літній період, коли інтенсивне сонячне випромінювання може призводити до перегріву приміщень, збільшення витрат на кондиціонування та негативного впливу на здоров'я та комфорт. Зокрема, обговорюється необхідність використання пасивних методів, таких як затінення вікон, для зниження енергоспоживання та підвищення комфорту у літні місяці. Об'єктом дослідження є дошкільний навчальний заклад у м. Київ. У дослідженні враховуються наступні фактори: теплові надходження від обладнання, освітлення, та від людей. Використовуючи програмне моделювання DesignBuilder, було оцінено енергопотребу на охолодження та енерговитрати освітлення для варіанту з та без затінення, включаючи статичне затінення та, рулонні жалюзі. Результати вказують на те, що статичне затінення от найбільш ефективним, і для репрезентативної знижує енергопотребу на охолодження на 74,98 кВт·год порівняно з варіантом без затінення, але при цьому призводить до збільшення енерговитрат на освітлення на 4,63 кВт·год. Зауважено, що встановлення рулонних жалюзів з внутрішньої сторони може бути найменш ефективним рішенням через збільшення витрат на освітлення та незначне зменшення енергопотреби для охолодження. Оцінено вплив орієнтації вікон та розташування затінення на ефективність. Крім того, аналіз впливу затінення на радіаційну температуру показує, що статичне затінення сприяє зниженню температури в приміщенні, поліпшуючи тепловий комфорт у літній період.

Ключові слова: Енергозбереження; Затінення; Умови комфортності; PMV; Динамічне моделювання будівлі

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v59i4.2734>

© The Author(s) 2023. This article is an open access publication

This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1. Вступ

У світлі постійно зростаючих вимог до сталого розвитку та раціонального використання ре-

сурсів, відповідно до директиви, що визначена у Європейському Союзі, стосовно енергоефективності будівель [1], всі нові громадські споруди, які введено в експлуатацію з 2019 року, мають відпо-

відати встановленим вимогам до об'єктів з практично нульовим енергоспоживанням (NZeB), що призводить до посилення уваги до рішень з підвищення енергоефективності.

Літні місяці, хоч і приносять радісне сонце та тепло, можуть також викликати проблеми у забезпеченні комфортного клімату в приміщеннях будівлі. Занадто інтенсивне сонячне випромінювання може призводити до перегріву приміщень, збільшення витрат на кондиціонування та, врешті-решт, до несприятливого впливу на здоров'я та настроїв дітей.

Затінення вікон розглядається як один із найбільш ефективних пасивних методів при проектуванні, що здатне знизити інтенсивне сонячне надходження до приміщень будівлі та знизити що призводить до зменшення споживання енергії в літній період.

Важливо відмітити, що вікна відіграють значну роль у споживанні енергії та тепловому комфорті будівлі [2, 3].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

В статті [4], досліджується ефективність затінення вікон для клімату в місті Йордан, використання затінення знижуючи температуру повітря всередині будівель у межах 2,6-3,3 °С. Крім того, це затінення покращило термічний комфорт, зменшуючи значення прогнозованої середньої оцінки та прогнозованого відсотка незадоволених порівняно з базовим варіантом без затінення. Додатково, прямокутна будівля продемонструвала найкращу реакцію на затінення, показуючи найбільше зниження температури повітря всередині.

У статті [5] досліджує вплив використання пристроїв затінення на тепловий комфорт та візуальне середовище в офісах Йорданського університету науки та технологій. Великі вікна та заклені фасади можуть призводити до перегріву, і дослідження використовувало різні пристрої затінення. Результати показали, що використання затінювальних пристроїв допомагає знизити температуру повітря та поліпшити візуальне середовище.

Стаття [6] розглядає вплив сонячної активності на тепловий режим у приміщеннях із системою радіаційного опалення. У рамках дослідження використовується метод імітації руху сонця, який здійснюється шляхом нагрівання плівок під час експериментів. Додатково використовується теп-

ловий манекен для оцінки теплового комфорту в приміщенні. Експерименти проводилися в помірному океанічному кліматі міста Тур, Франція. Отримані результати свідчать, що рухома сонячна пляма призводить до зниження теплового комфорту в приміщенні.

3. Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є дошкільний навчальний заклад № 630 (ясла-садок) який розташований у м. Київ. Навчальний заклад заснований у 1951 році. У ДНЗ даний час навчається 84 діти, які поділено на 4 групи по 21 дитині, працює 25 осіб персоналу. На рис.1 зображено модель будівлі в DesignBuilder, орієнтація північ (Пн), схід (Сх), південь (Пд), захід (Зх), та репрезентативна кімната (ігрова кімната) яка є об'єктом дослідження впливу затінення на потребу на охолодження а також впливу на умов комфорту.

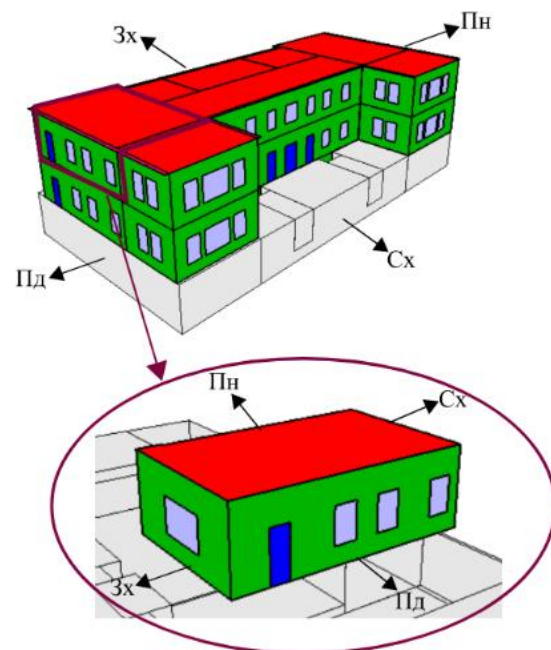


Рисунок 1 – 3D-модель будівлі, створена в DesignBuilder

Репрезентативна кімната знаходиться на другому поверсі і має 3 вікна загальною площею 4,65 м² орієнтовано на Пд та одне вікно 3,675 м² орієнтовано на Зх. Ігрова має наступні зовнішні неізоляційні огорожувальні конструкції в яких було збільшено опір теплопередачі до норм Швеції: стіни – 5,85 (м²·К)/Вт, горішце перекриття неопалювальних горіщ – 9,5 (м²·К)/Вт, та двері – 1,05 (м²·К)/Вт, які ведуть через сходи на вулицю та

встановлені для пожежної безпеки.

Для охолодження будівлі в літній час передбачається встановлення спліт-системи, яка буде вмикатися лише за потреби в робочі години. Внутрішня температура на охолодження встановлена 26 °С, та кратність повітря обміну 1,5 год⁻¹ відповідно до стандарту EN 12831 [7]. На охолодження в будівлі впливають теплові надходження від обладнання, освітлення, людей, а також сонячні надходження.

Відповідно до [8] типові дані тепло надходження від електронного обладнання становить 3 Вт/м² тривалістю 50 год/тиждень за винятком святкових та вихідні днів, для яких внутрішні тепло надходження прийняті нульовими. В моделі встановлено, що 3 Вт/м² теплового надходження від електронного обладнання надходить з 8:00 і до 18:00 у будні дні.

В DesignBuilder для налаштування потреб на освітлення було встановлено максимальну потужність 2,5 Вт/м²/100 люкс, що відповідає енергоспоживанню LED лампи. Відповідно до вимог [9] в моделі рівень освітлення для репрезентативної кімнати встановлено на рівні підлоги 400 люкс.

Для керування освітлення встановлюються ступінчасте управління. Ступінчасте керування дозволяє вмикати/вимикати освітлення відповідно до наявності природного денного світла в окремих кроках, ступеневе керування моделює блоки вмикання/вимикання світла відповідно до вимог електричного освітлення. Споживана електрична потужність і світловий вихід змінюються, однаковими кроками, встановлено що таких кроків 3. Такий тип керування максимально наближений до реальних умов, де керування відбувається завдяки включенню за необхідністю лише частини освітлювальних приладів.

Метаболізм (М) в DesignBuilder задано значенням 180 Вт, яке відображає теплову виробленість дорослого чоловіка з типовою поверхнею тіла 1,8 м², тому було встановлено метаболічний фактор, який складає 0,75 для дітей. Також встановлено, що в репрезентативній ігровій кімнаті 21 дитина знаходяться з 9-13 і з 17-18 годин в будні дні.

Кліматичні дані для динамічного моделювання використанні з погодніого погодинного файлу IWEC [10] типового метеорологічного року для м. Київ. В рамках дослідницького проекту RP-1015 U.S. National Climatic Data Center були створені кліматичні файли типового року Interna-

tional Weather for Energy Calculations (IWEC) для ряду міст. Процедура отримання даних була заснована на виборі типового року протягом 18-річної послідовності погодних даних. Погодинні значення з файлу IWEC [10] включають в себе температуру сухого термометра, відносну вологість, швидкість та напрям вітру, барометричний тиск, пряму (виражена через direct normal) та розсіяну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню (diffuse horizontal) тощо. На рис. 2 наведено графік зміни зовнішньої температури повітря та сонячної активності сонця протягом квітня-жовтня

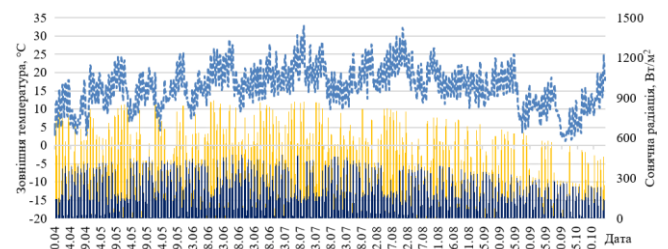


Рисунок 2 – Кліматичні дані типового року IWEC для м. Київ: — — — — Зовнішня температура; — Сонячна радіація, глобальна горизонталь; — Сонячна радіація, дифузна горизонталь

Для перерахунку сонячних теплонадходжень, які надходять в зону кімнати, використано програмний продукт EnergyPlus [11], який дозволяє враховувати відбиття сонячної радіації від поверхонь огорожень та ґрунту, і оптичні коефіцієнти пропускання сонячної радіації, який становить 0,5 для даного типу вікон. На рис. 3 представлено погодинні сонячні тепло надходження, які надходять в зону будівлі, загальне теплове надходження протягом квітня – жовтня складає 20062 кВт·год.

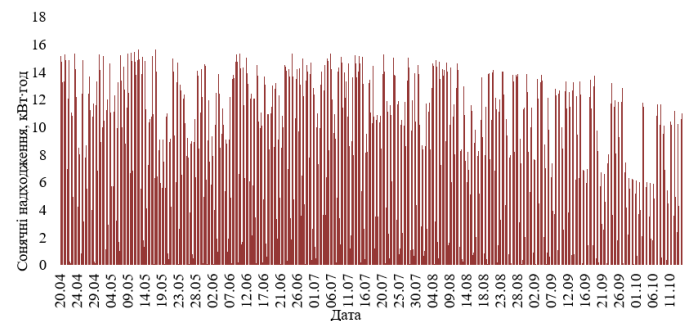


Рисунок 3 – Сонячні тепло надходження протягом квітня - жовтня

Для затінення було вибрано 3 різні типи, тип 1 – це статичне затінення яке встановлено зверху вікна під кутом 90° та виступає на 1 м, тип 2 та 3 – це рулонні жалюзі які налаштовані так щоб при

вмикання охолодження ці жалюзі опускаються, основні характеристики цих жалюзі наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики жалюзі

Коефіцієнти / Тип	Сонячна пропус-кна здатність	Відбиття сонця	Видиме пропус-кання	Видиме відбиття сонця
Тип 2	0,650	0,250	0,650	0,250
Тип 3	0,050	0,350	0,050	0,350

4. Результати моделювання

Було проведено моделювання в DesignBuilder з використання цих типів затінення для визначення енергопотреб на охолодження та енерговитрати освітлення для репрезентативної кімнати. Для затінення типів 2 та 3 було змодельовано 2 варіанта установки як ззовні так із внутрішньої сторони. Відповідно до результатів моделювання, які наведено на рис. 4, найкращий варіант затінення з точки зору енергоефективності буде тип 1 – статичне затінення, яке знижує енергопотребу охолодження на 74,98 кВт·год порівняно з варіантом без затінення, водночас є і збільшення використання енерговитрати освітлення, що призводить до збільшення енерговитрати освітлення на 4,63 кВт·год. Найменш ефективним буде встановлювати жалюзі з внутрішньої сторони, так як тепло від сонця буде захо-

дити до кімнати водночас зі збільшенням витрат на освітлення, так для типу 3 рулонних жалюзі бачимо збільшення витрат на освітлення більш ніж у 5 разів. Для типу 2 рулонних жалюзі показник енерговитрат на освітлення знаходять на рівні зі статичним типом 1, проте установка із зовнішньої сторони вікна зменшує енергопотребу охолодження лише на 13,31 кВт·год, що є 18% від економії від статичного затінення.

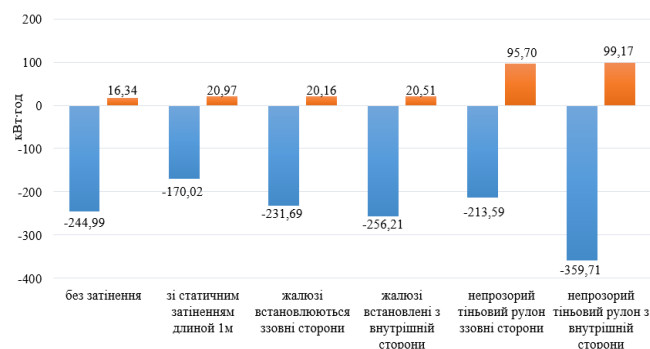


Рисунок 4 – Енергопотреба на охолодження та енерговитрата освітлення:

■ – Енергопотреба на охолодження;
■ – Енерговитрата на освітлення

На рис. 5 зображена радіаційна температура в кімнаті, а також різниця цієї температури від радіаційної температури з затіненням для статичного затінення та рулонних жалюзі, тип 2 та 3, які встановлені ззовні. Максимальне зниження радіаційної температури при використанні статичного

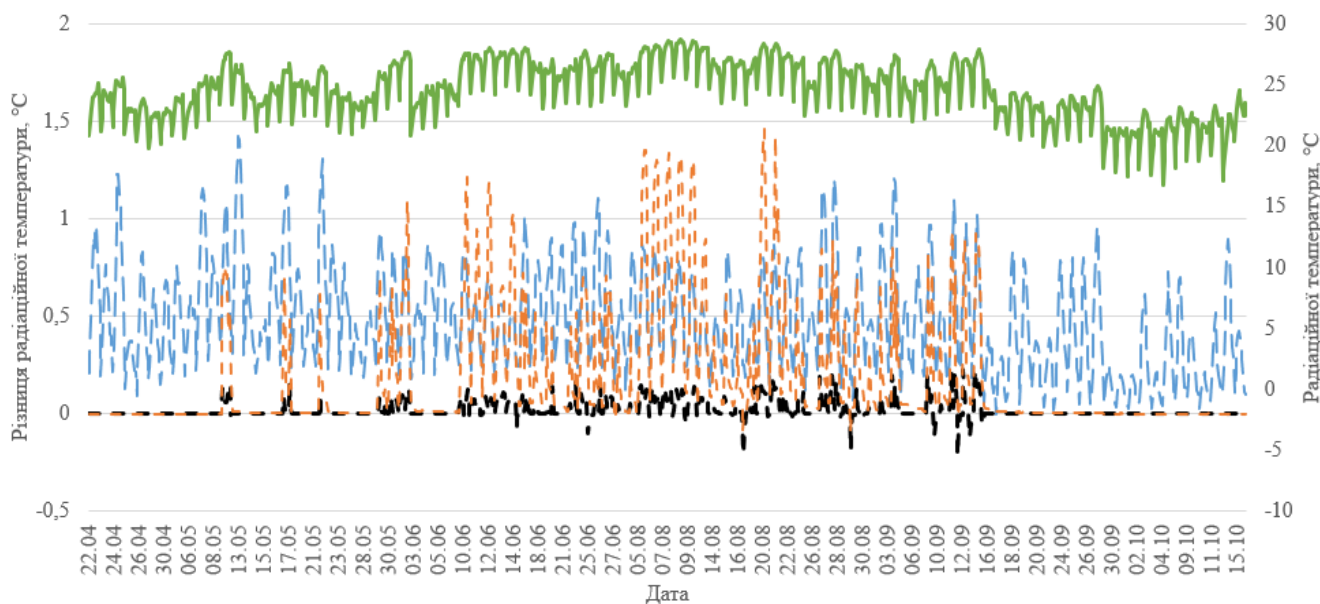


Рисунок 5 – Значення радіаційної температури, а також різниця радіаційної температури без затінення і з затіненням: — — — — радіаційна температура без затінення; — — — — різниця радіаційної температури без та з статичним затіненням; — — — — різниця радіаційної температури без та з рулонним жалюзі, тип 2; — — — — різниця радіаційної температури без та з рулонним жалюзі, тип 3.

затінення типу 1 становить 1,42°C а середнє значення 0,48°C, для рулонних жалюзі типу 2 ці показники значно менше – 0,23 °C та 0,02 °C. Викреслюю далі, бо незрозуміло для типу 3 ці показники мають наступні значення: максимальнє зменшення 1,46 °C, середнє – 0,19 °C.

Відповідно до представлених даних найефективніше рішення буде використовувати статичне затінення зверху вікна довжиною 1 м. Для визначення впливу орієнтації на ефективність затінення

було змодельовано варіанти без затінення та типу 1, і маємо наступні 4 опції площі вікон за орієнтацією. Орієнтація 1 – 4,65 м² орієнтовано на Пд та 3,675 м² Зх; Орієнтація 2 – 4,65 м² орієнтовано на Сх та 3,675 м² Пд; Орієнтація 3 – 4,65 м² орієнтовано на Пн та 3,675 м² Сх; Орієнтація 4 – 4,65 м² орієнтовано на Зх та 3,675 м² Пн. На рис. 6 представлена енергопотреба на охолодження та енерговитрата освітлення для різної орієнтації кімнат.

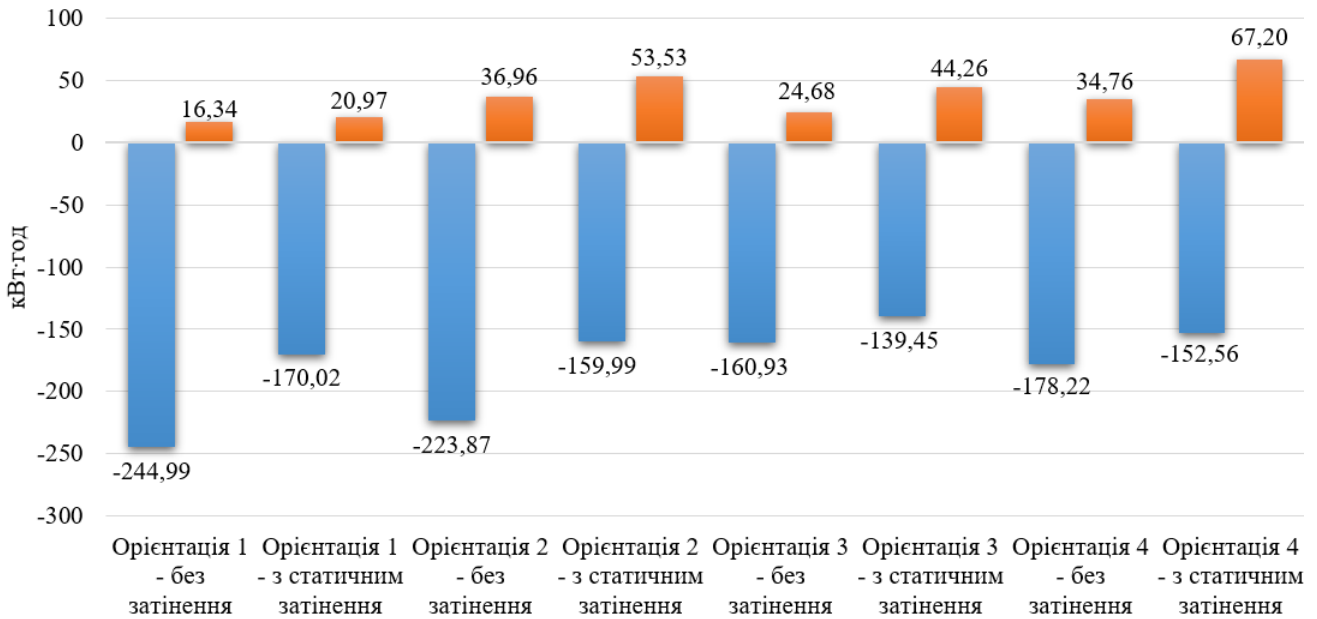


Рисунок 6 – Енергопотреба на охолодження та енерговитрата освітлення для різної орієнтації:
■ – Енергопотреба на охолодження; ■ – Енерговитрата на освітлення

На рис 7 переставлено сонячні тепло надходження до репрезентативної кімнати за різними сторонами світу. Відповідно до даних з рис. 6 та 7 найбільший ефект від затінення буде для орієнтації 1 та 2, завдяки затіненню знижуються енергопотреба до 30% та сонячні надходження до 32% для двох варіантів, проте збільшується енерговитрата на освітлення на 28% для орієнтації 1 та 45% для орієнтації 2.



Рисунок 7 – Сонячні теплонадходження до репрезентативної кімнати для різної орієнтації

Затінення впливає на радіаційну температуру, а отже і на показник комфорту PMV. На рис. 8 представлено динаміку зміни показника теплового комфорту PMV для орієнтації 1 без затінення та з статичним затіненням.

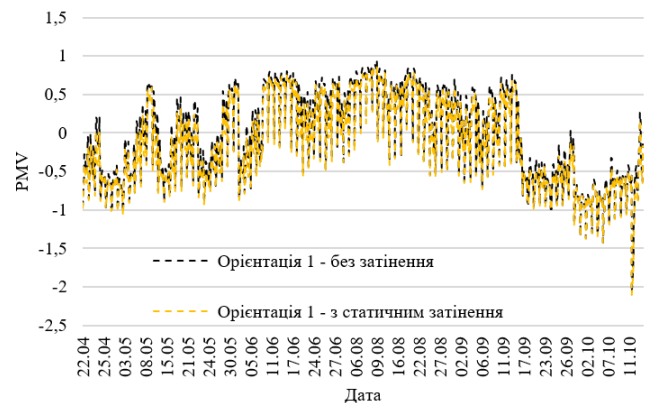


Рисунок 8 – Динаміка зміни показника теплового комфорту PMV

Затінення в літній час зменшує PMV в серед-

ньому на 0,1 і наближає до оптимального значення 0,5 PMV для чутливих верст населення, до яких належать діти дошкільного віку. Проте в період міжсезоння, де PMV має від'ємні значення, спостерігається також зменшення PMV, що призводить до зниження теплового комфорту.

6. Висновки

Здійснено моделювання в DesignBuilder для оцінки енергопотреб на охолодження та енерговитрат освітлення для репрезентативної кімнати, використовуючи різні типи затінення.

За результатами моделювання виділяється, що статичне затінення типу 1 є найефективнішим варіантом з точки зору енергоефективності, знижуючи енергопотребу на охолодження на 74,8 кВт·год порівняно з варіантом без затінення. Однак це призводить до збільшення енерговитрат на освітлення на 4,63 кВт·год.

Враховуючи ефективність затінення залежно від орієнтації вікон, найбільший ефект спостерігається для орієнтацій Пд.

Використання затінення впливає на радіаційну температуру, що в свою чергу впливає на тепловий комфорт, зменшуючи PMV в літній період на 0,1, що призводить до покращення теплового комфорту. Загальні висновки вказують на необхідність обрання оптимального типу та розташування затінення для досягнення балансу між енергоефективністю та підтримкою теплового комфорту.

Особистий внесок авторів CRediT

Білоус І.Ю.: концептуалізація, методологія, налаштування математичної моделі. **Дешко В.І.:** методичне забезпечення, постановка задачі. **Буяк Н.А.:** аналіз та узагальнення даних, обробка результатів імітаційного моделювання. **Сапунов А.О.:** програмне моделювання, обробка даних, інформаційний пошук.

Література

1. European Union, Directive (EU) 2018/844 of the

European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, 19.6.2018 // Official Journal of the European Union, L 156/75.

2. **Schweiker M., Fuchs X., Becker S., Shukuya M., Dovjak M., Hawighorst M., Kolarik J.** Challenging the assumptions for thermal sensation scales // Building Research & Information. – 2016. – P. 1-18.

3. **Shukuya, M.** Exergetic aspect of human thermal comfort and adaptation // Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia. – 2018. – P. 123-129.

4. **Esraa Sh. Abbaas, Mazran Ismail, Ala'eddin A. Saif, Muhamad Azhar Ghazali.** Impact of window shading on the thermal performance of residential buildings of different forms in Jordan // Architecture and Engineering. – 2023. – P. 25-36.

5. **Ahmed A.Y.** Freewan Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions // Solar Energy. – 2014. – Vol. 102. – P. 14-30.

6. **T. Li, A. Merabtine, M. Lachi, R. Bennacer, J. Kauffmann.** Experimental study on the effects of a moving sun patch on heating radiant slabs: The issue of occupants' thermal comfort // Solar Energy. – 2023. – Vol. 255. – P. 36-49.

7. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження (чинний від 15.12.2017).

8. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання (чинний з 01.03.2023).

9. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення (чинний з 01.03.2019).

10. International Weather for Energy Calculations. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR (дата звернення: 11.12.2023).

11. Офіційний сайт EnergyPlus Energy Simulation Software. URL: <https://energyplus.net> (дата звернення: 11.12.2023).

Отримана в редакції 11.12.2023, прийнята до друку 19.12.2023

Impact of window shading on energy consumption and thermal comfort in summer for a preschool educational institution

Inna Bilous^{1✉}, Valerii Deshko², Nadia Buyak³, Anatolii Sapunov⁴

¹⁻⁴National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Prosp. Peremohy, Kyiv, 03056, Ukraine

✉ e-mail: ¹biloyis_inna@ukr.net

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>; ²<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>;

³<https://orcid.org/0000-0003-0597-6945>; ⁴<https://orcid.org/0000-0002-6507-7979>

Due to the growing requirements for sustainable development and rational use of resources, especially in the context of the European Union's directives on energy efficiency in buildings, there is a growing attention to the development of so-lutions aimed at ensuring almost zero energy consumption in new public buildings. The article discusses the relevance of introducing energy-efficient technologies in public buildings in accordance with European energy efficiency standards. Particular emphasis is placed on the summer months, when intense solar radiation can lead to overheating of the premis-es, increased air conditioning costs, and negative impact on health and mood. In particular, the necessity of using pas-sive methods, such as window shading, to reduce energy consumption and increase comfort in the summer months is dis-cussed. The object of the study is a preschool educational institution in Kyiv. The following factors are taken into ac-count in the study: heat gains from equipment, lighting, and people. Using DesignBuilder software modeling, the energy demand for cooling and lighting energy consumption was estimated for the option with and without shading, including static shading and roller blinds. The results indicate that static shading is the most effective, and for the representative one reduces the energy consumption for cooling by 74.98 kWh compared to the option without shading, but at the same time leads to an increase in energy consumption for lighting by 4.63 kWh. It is noted that the installation of roller blinds on the inside may be the least efficient solution due to the increase in lighting costs and a slight decrease in energy con-sumption for cooling. The impact of window orientation and shading location on efficiency is evaluated. In addition, the analysis of the effect of shading on radiant temperature shows that static shading contributes to lowering indoor tem-peratures, improving thermal comfort in summer.

Keywords: Energy saving; Shading; Thermal Comfort; PMV; Dynamic building modeling

References

- European Union, Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency, 19.6.2018 // Official Journal of the European Union, L 156/75.
- Schweiker, M., Fuchs, X., Becker, S., Shukuya, M., Dovjak, M., Hawighorst, M., Kolarik, J.** (2016) Challenging the assumptions for thermal sensation scales. *Building Research & Information*, 1-18.
- Shukuya, M.** (2018) Exergetic aspect of human thermal comfort and adaptation. *Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia*, 123-129.
- Esraa Sh. Abbaas, Mazran Ismail, Ala'eddin A. Saif, Muhamad Azhar Ghazali.** (2023) Impact of window shading on the thermal performance of residential buildings of different forms in Jordan. *Architecture and Engineering*, 25-36.
- Ahmed, A.Y.** (2014) Freewan Impact of external shading devices on thermal and daylighting performance of offices in hot climate regions. *Solar Energy*, 102, 14-30.
- T. Li , A. Merabtine, M. Lachi, R. Bennacer, J. Kauffmann.** (2023) Experimental study on the effects of a moving sun patch on heating radiant slabs: The issue of occupants' thermal comfort. *Solar Energy*, 255, 36-49.
- DSTU EN 12831-1:2017 Energy efficiency of buildings. Method for calculating the design heat load (effective from 15.12.2017).
- DSTU 9190:2022 Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption during heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply (effective from 01.03.2023).
- DBN B.2.5-28:2018 Natural and artificial lighting (effective from 01.03.2019).
- International Weather for Energy Calculations. Retrived 11 December 2023 from https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.
- Official site EnergyPlus Energy Simulation Software. Retrived 11 December 2023 from <https://energyplus.net>.

Received 11 December 2023
Approved 19 December 2023
Available in Internet 02 January 2024